

ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕЗИСА И ОСВОЕНИЯ СОДОВЫХ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ В СИБИРИ

Н. В. ОРЛОВСКИЙ

Институт Леса и Древесины А. Н. СССР. Красноярск

Огромная территория Западной и Средней Сибири, простирающаяся от Уральского хребта до Лены, резко отличается по своим биоклиматическим и почвенным условиям от зональных аналогов Русской равнины. В почвенно-географическом районировании, проведенном Почвенным Институтом им. В. В. Докучаева и СОПС [36], выделяются Западно-Сибирская и Среднеили Центрально-Сибирская провинции. (В отношении Средне-Сибирской провинции еще нет полного согласия ни в части ее названия, ни определения границ.) Схематической границей между ними служит Енисей. Используя климатические характеристики последней сводки, можно эти отличия показать на следующих примерах.

В зоне лесостепи (Ж—1) с оподзоленными, выщелоченными и типичными черноземами по мере движения на восток сумма температур теплого периода сокращается с 2400—2700°С до 1400—1800°С, продолжительность вегетационного периода уменьшается с 184—195 до 137—145 дней и безморозного периода с 148—158 до 83—91 дней, зимы становятся холоднее и малоснежнее, годовая сумма осадков падает, континентальность климата усиливается. Те же различия, но еще в более подчеркнутом виде, прослеживаются и по степной зоне (Ж—2) с обыкновенными и южными черноземами.

Естественно, что эти различия сказываются прежде всего на почвах, которые хотя и имеют в целом по зоне одинаковые наименования, но отличаются от своих европейских аналогов особенностями генезиса, агропроизводственными и лесохозяйственными характеристиками. В силу этого изменяются и системы агротехники, применения удобрений, мелиоративных мероприятий и т. п.

Признание этих общих положений, имеющих с первого взгляда характер прописных истин, ведет за собою ряд важных следствий: в практике земледелия и лесоводства — необходимость дифференцированного гибкого планирования различных мероприятий, в биологической науке — отказ от ряда привычных утверждений, получивших широкое хождение в специальной и учебной литературе на основе исследований, проведенных в Европе. Рассматривая этот вопрос в историческом аспекте, нельзя забывать, что всё освоение огромной холодной Сибири двигалось веками с запада на восток и весь практический и научный опыт в самых разнообразных областях питался корнями, как говорят сибиряки, из «России», т. е. из-за Урала.

Это относится и к почвоведению. Многие положения, установленные на великой Русской-равнине, переносились учениками Докучаева на огром-

ные просторы Сибири лишь с небольшими поправками и дополнениями. И только в последнее десятилетие был опубликован ряд работа, устанавливающих самобытные черты в почвообразовании Сибири с выделением некоторых новых типов и подтипов, обоснованием провинциальных делений и т. п. [8, 11, 12, 13, 17, 18, 23, 25, 27, 33, 35, 37, 43].

Это относится и к нашим представлениям о водном и солевом режиме, генезисе засоленных почв Сибири. Общие закономерности, вскрытые в классических работах *К. К. Гедройца*, переносятся в Западно-Сибирскую низменность в исследованиях *И. П. Герасимова* и *Е. Н. Ивановой* [9], *Н. И. Базилевич* [3], *К. П. Горшенина* [11], *Г. А. Маландина* [24], *Н. В. Орловского* [29, 30] и др. Закономерности водного режима почв, установленные *В. Г. Вотмистровым*, *Г. Н. Высоцким*, *А. Ф. Лебедевым* и *А. А. Роде* [39] переносятся на сибирскую почву *М. З. Журавлевым* [15]; устанавливается своеобразное поведение влаги в мерзлых почвах Сибири [5, 7, 30].

Представления о солевом режиме почв были первоначально сформулированы на материалах исследований, проведенных в Средней Азии, Нижнем Поволжье и на юге Украины. Зимний минимум и летний максимум засоления, проявляющийся в разнообразных формах в зависимости от почвенно-мелиоративных условий на фоне резкого усиления испарения в летние месяцы, — вот, собственно, схема, от которой шли почвоведы-мелиораторы в Сибирь в поисках сульфатно-содового соленакопления, определенного для всей Сибири по известной схеме *В. А. Ковда* [20]. Прямое изучение вопросов солераспределения в Барабе, Кулунде, Алейской степи, Минусинской котловине, Приангарье, Якутии привело к значительному усложнению этой первоначальной схемы.

В данном сообщении я останавлиюсь только на наиболее характерных особенностях водного и солевого режима, определяющих генезис и свойства засоленных почв Западной и Средней Сибири. Это особенности установлены на основе длительных стационарных исследований, проведенных под руководством автора научными коллективами Убинской опытно-мелиоративной станции (УОМС, Центральная Бараба), Алтайского сельхозинститута (Алейская степь) и института леса и древесины АН СССР (Ширинская степь в Минусинской котловине).

Прежде всего специфична гидрология гидроморфных почв, выявленная в результате многолетних наблюдений над уровнем верховодок в Барабе по профилю: «грива — приболотный пояс — болото» [30] (рис. 1.).

Повышения грив заняты лугово-черноземными солонцеватыми почвами с пятнами содовых солонцов и солодей по микрозападинам. По склонам располагаются луговые и лугово-болотные солончаковые почвы и солончаки с хлоридно-сульфатным засолением. Окрайки болота представлены торфянисто- и торфяно-болотными сильно-солончаковыми почвами и солончаками, переходящими в обширный массив солончаковатого низинного болота с осоково-тростниковым торфом мощностью до полутора-двух метров с одиночными пятнами сфагновых болот («рямы»), образовавшихся на месте прежних пресных озёр.

Весною по крупным западинам с солодами, под березовыми колками, где под мощным слоем снега почва почти не промерзает, талые воды интенсивно питают грунтовые воды. Главная же масса их сбрасывается по мерзлой почве поверхностным стоком с гривы в болото, где медленно просачивается по редким проталинам (под высокотравьем, по дну осушительных

канал и т. п.) в грунтовые воды, разьединенные от талых вод водонепроницаемой мёрзлой толщей торфа.

Десукция быстро развивающейся весной на гриве растительности использует купол пресной верховодки, луговая растительность приболотного пояса создает летом депрессию в уровне верховодок, которую я условно назвал «мульдой». Она медленно пополняется верховодкой как с гривы, так и с болота. Застойные воды при упаривании на месте концентрируются и являются причиной проявления в приболотном поясе солончакового процесса, сдерживаемого в некоторой мере лишь по местам скопления сравнительно пресных талых вод. Только осенью в сухие годы позднее развивающееся болотное высокотравье с помощью десукции снимает левое крыло мульды и кривая уровня верховодок устанавливается на период зимнего минимума в соответствии с рельефом. Неумелым осушением можно быстро снять пресную линзу («подушку») талых вод, наслаивающихся ежегодно на болоте и тем самым открыть сюда доступ для соленых вод приболотного пояса. Приведенная схема широко использована в последующих почвенных и мелиоративных исследованиях.

Вторая особенность — глубокое зимнее выхолаживание и промерзание почв и «намерзание» влаги и солей в мёрзлой толще [41] (Табл. 1.).

Глубина и скорость промерзания зависят от мощности снежного покрова, осенней влажности почвы и глубины стояния грунтовой воды (а на солончаках и от концентрации солей в ней). Промерзание начинается в конце октября-начале ноября, оттаивание — с начала апреля, а заканчивается только в июне, на болоте — даже в июле, а при осушении торф, промерзший на глубину до 100 см не успевает за вегетационный период полностью оттаять. Оттаивание идет только сверху, так как при среднегодовой температуре воздуха около 0°C тепловые ресурсы подмерзлотной толщи недостаточны для сколько-нибудь заметного влияния на нижнюю поверхность мерзлой толщи.

Промерзание почвы сопровождается увеличением влажности мерзлого слоя, которое проходит скачкообразно по границе с фронтом надвигающейся мерзлоты, за счет некоторого изъятия влаги из подмерзлотного слоя

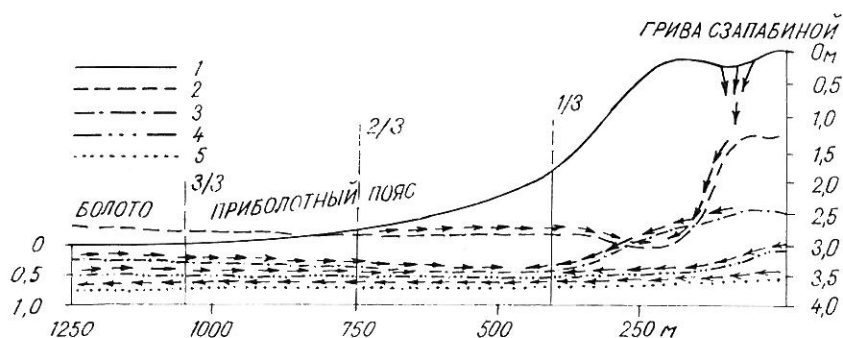


Рис. 1.

Положение уровня верховодки по профилю «грива-болото». 1 — поверхность земли; 2 — весенний уровень; 3 — летний уровень; 4 — осенне-зимний уровень; 5 — осенне-зимний уровень в сухой год

Таблица 1.

Замерзание и оттаивание почв по средним данным за 1942—1948 гг. по
П. И. Сребрянской [41]

Пункты	Промерзание					
	Максим. средняя и абсо- лютная глубина, см	Скорость см/сутки	Σ отриц. t воздуха, потреб- ных на промерза- ние 1 см почвы, C°	Скорость, см/сутки	Σ полож. t воздуха, потребн. на оттаив. 1 см поч- вы, C°	Продол- жительность пе- риода с мерзлотой, дни
Грива, лугово-черноземная почва	147—185	0,90	—17,6	2,50	4,10	227
Шлейф склона гривы, луговой солончак	113—150	0,78	—25,0	2,70	2,10	192
Приболотный пояс, лугово-болотная солончаковая почва	107—130	0,69	—25,2	1,78	5,10	217
Низинное осоково-тростниковое болото	67—100	0,38	—41,5	1,42	7,90	210
Верховое сфагновое болото	52—67	0,29	—49,0	1,00	11,70	206

(Табл. 2.). Если грунтовая вода стоит высоко и мерзлая толща находится в зоне капиллярной каймы, то это изъятие быстро восполняется за счет капиллярного подпитывания и грунтовая вода транзитом расходуется на процесс намерзания влаги, чем отчасти и объясняется зимний минимум в уровнях верховодок на болоте (при отсутствии зимою расхода их на десукцию и испарение). Чем интенсивнее капиллярное подпитывание, усиливающееся по мере повышения уровня верховодки вниз по склону гривы, тем больше намерзает влаги в мерзлую толщу.

Интенсивность капиллярного подпитывания в тяжелых суглинках на гривах резко падает с уходом уровня верховодки на глубину 100—125 см и становится ничтожной при уровне 175—180 см. На болоте же, в торфе, максимум капиллярного поднятия определен Н. А. Соколовской всего в 70 см. Во все годы наблюдений, кроме 1945/46 гг. (с очень засушливым летом), мерзлая толща находилась в зоне капиллярного подпитывания и чем сильнее оно было выражено, тем интенсивнее легкоподвижная влага поступала в мерзлый слой. Исключением была только зима 1946—47 гг., когда после очень влажного лета вода на болоте при начале его промерзания стояла на глубине всего 20 см и все поры торфа были заполнены водою.

Наблюдения последних лет, проведенные в специальных лизиметрах на торфах УОМС Э. А. Бишофом, характеризуют ход намерзания влаги

следующим образом (по месяцам):

XI — 15,8 мм	
XII — 28,6 „	III — 5,1 „
I — 17,8 „	IV — 1,9 „
II — 6,2 „	За зиму — 74,8 мм

Таблица 2.

Изменение влажности почв за зимы 1945—49 гг. по Н. А. Соколовской [40]

П у н к т	Приход влаги (числитель, мм), рассчитанный на весь мерзлый слой (знаменатель, см)				Среднесуточный при- ход влаги (числитель, мм), уровень верхо- водки перед снеготая- нием (знаменатель, см)			
	1945— 1946	1946— 1947	1947— 1948	1948— 1949	1945— 1946	1946— 1947	1947— 1948	1948— 1949
Грива, лугово-чернозем- ная почва	—	$\frac{+41,4}{130}$	$\frac{+30,9}{120}$	$\frac{-3,5}{130}$	— 357	$\frac{+0,3}{270}$	$\frac{+0,2}{270}$	$\frac{0,0}{280}$
Склон гривы, глубоко- столбчатый солонец	—	$\frac{+32,3}{120}$	$\frac{+37,1}{110}$	$\frac{+7,1}{120}$	— 292	$\frac{+0,2}{230}$	$\frac{+0,2}{250}$	$\frac{+0,1}{250}$
Приболотный пояс, лу- говой солончак	—	$\frac{+89,3}{80}$	$\frac{+61,3}{60}$	$\frac{+35,2}{110}$	— 310	$\frac{+0,6}{220}$	$\frac{+0,4}{230}$	$\frac{+0,2}{240}$
Низинное осково-трост- никовое болото	$\frac{+96,3}{40}$	$\frac{+15,8}{40}$	$\frac{+105,6}{40}$	$\frac{+85,0}{50}$	$\frac{+0,7}{230}$	$\frac{+0,1}{50}$	$\frac{+0,7}{110}$	$\frac{+0,6}{100}$

На каждый сантиметр промерзания примерно накапливалось по одному миллиметру влаги.

Таким образом, в почвах приболотного пояса и на болоте в условиях Центральной Барабы за зиму накапливается от 40 до 105 мм влаги, что при годовой сумме осадков около 300 мм, свидетельствует о большой роли зимнего прихода влаги в водном балансе почвы. Однако, самый механизм намерзания влаги до сего времени еще не выяснен, хотя и имеются разнообразные попытки его экспериментального изучения (Тютюнов, Нерсесова [44, 43] и др.).

Что же касается перегонки водяных паров в мерзлую толщу почвы, то ее заметное участие возможно лишь в поверхностных горизонтах, где градиент температуры в сильные морозы увеличивается. М. З. Журавлев в своих многолетних исследованиях водного режима приомского чернозема показал, что при весеннем нагревании перегонка водяных паров из верхней толщи в холодную нижнюю достигает значительной величины (по 0,33 мм/сутки) [15]. Зимний режим остался здесь не прослеженным. Н. А. Соколовская, анализируя многолетние данные по почвенным температурам Барабинской метеостанции, на основе расчета потери тепла почвой с ноября по март показала, что затраченного тепла достаточно на превращение в пар только 5,4 мм влаги. [40] Но на черноземовидных переувлажненных супесях Хакасского стационара (Минусинская впадина) с высокой порозностью (47—48 и до 58% в верхнем горизонте) и с низкой НВ (7,5—9%) Н. С. Орешкина в специальных опытах с монолитами, где жидкая влага метилась хлором, определила около 40 мм влаги, поступившей за зиму в виде пара в верхний полметр. Таким образом, в этих условиях процесс перегонки водяных паров проявляет себя активно.

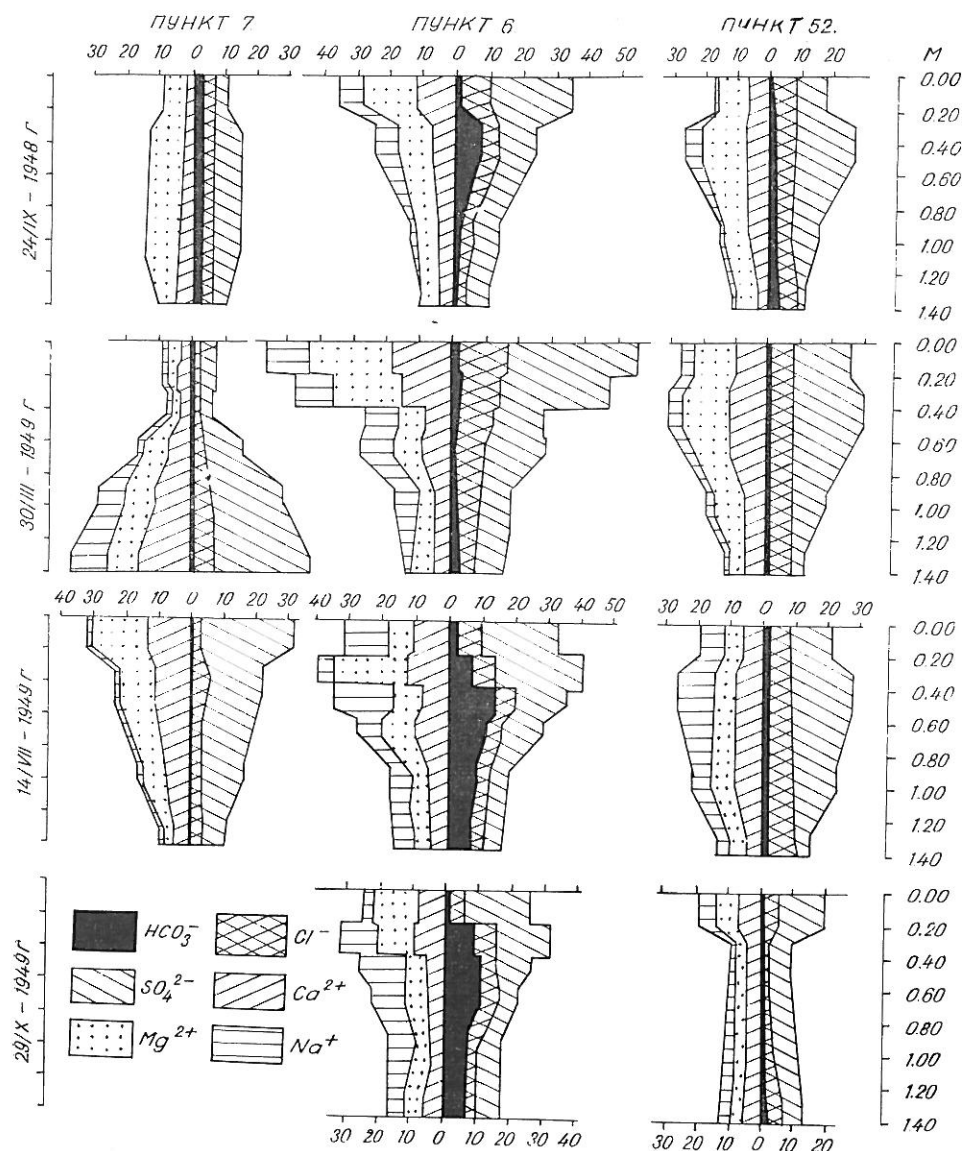


Рис. 2.

Изменения солевого состава почвенных растворов на торфяно-болотных солончаковых почвах. (По данным Н. М. Голякова). — Пункт 7 — пространство между канавами шириною 200 м, толщина снегового покрова 73–83 см, медленное промерзание на 30 см, быстрое оттаивание в апреле. — Пункт 6 — там же, мощность снега 30 см, промерзание, на 55 см, медленное оттаивание в июле. — Пункт 52 — пространство между канавами 100 м, мощность снега 10–15 см, промерзание на 80 см, очень медленное оттаивание в начале августа

Вместе с жидкой влагой в мёрзлой толще накапливаются, естественно, и соли. Размер и формы такого накопления и последующая миграция солей в процессе оттаивания мёрзлой почвы были прослежены *Н. М. Голяковым* на торфяно-болотных солончаковых почвах Убинской опытно-мелиоративной станции [10] (Рис. 2.). Одновременные определения влажности показали, что за зиму 1948—1949 гг. в мёрзлой толще накопилось от 88 до 134 мм влаги. Вместе с нею увеличилось и количество солей, но характер их накопления при этом был различен: в п. 7., где промерзание на глубину всего 30 см шло медленно, солей накопилось за зиму в 2,12 раза больше по сравнению с осенним запасом и накапливались они в нижней толще, в п. 6. с промерзанием на глубину 55 см накопление в 1,25 раза наблюдалось в верхней толще и в п. 52. с промерзанием на 60 см — в 1,15 раза также в верхней толще.

Из рисунка видно, что главное место в процессе соленакопления занимают сульфаты кальция и магния, в меньшей мере — натрия и еще в меньшей — хлориды натрия, магния и кальция. Лишь в редких случаях в этом процессе участвуют бикарбонаты. Таким образом, при промерзании происходит значительная дифференциация растворов солей. Причины ее очень сложны и до сего времени еще не поддаются точному определению. Во всяком случае можно только сказать, что резкое понижение растворимости карбонатов и сульфатов натрия при низких температурах не единственный фактор этой дифференциации.

Большой интерес представляет миграция солей после зимнего накопления в процессе весенне-летнего оттаивания почвы (см. срок 14 июля). В этот срок почва пункта 7. в результате быстрого оттаивания уже значительно прогрелась, почва п. 6. только что оттаяла и почва п. 52. еще имела на глубине 70—80 см остатки мерзлоты. Наблюдения показывают, что в ранне-весенний период при начале оттаивания почвы наблюдается повсюду явное опреснение почвы. При этом оно мало связано с промывкой почвы талыми водами, фильтрация которых через мерзлую почву отсутствовала, а объясняется в основном процессом термодиффузии, действующим вследствие установления резкого градиента температуры, высокой в верхнем (пахотном) слое торфа (до 20° С) и нулевой в мёрзлой толще. [22] Появляющаяся в процессе оттаивания почвы надмерзлотная верховодка с растворенными в ней солями зимнего накопления также передвигается вниз. Чем продолжительнее проходит оттаивание почвы, тем сильнее идет опреснение верхней толщи.

Опреснение почвы идет главным образом за счет тех солей, которых более всего накопилось за зиму, т. е. в первую очередь удаляются сульфаты магния, кальция и натрия, явно уменьшается содержание хлоридов, но вместе с тем увеличивается количество бикарбонатов. Последнее следует связать с усилением в оттаявшей почве деятельности бактерий особенно сульфатредуцирующих, которая была вскрыта в наших предшествующих исследованиях.

По мере прогревания верхней толщи активизируется испарение, которое в солнечные дни достигает 5 и более миллиметров в сутки. В результате возникает обратный процесс капиллярного подтягивания влаги и солей к испаряющей поверхности. Чем скорее и глубже почва оттаяла (п. 7.), тем интенсивнее этот процесс себя проявляет в мае-июне с характерной для этих месяцев засухой. Чем глубже почва промерзла, чем медленнее она

оттаивает (п. 6. и особенно п. 52.), тем сильнее сказывается сдерживающее влияние мерзлоты.

Изученные процессы определяют характер необходимых мероприятий при осушении засоленных болот. В кротовых и гончарных дренах при промерзании конденсировались водяные пары и образовывали иней, который весной превращался в ледяные пробки, забивавшие дрены сплошной массой. При наличии весной водонепроницаемой мерзлой толщи дренажное действие открытых канав сводится к минимуму. Тогда частота осушительной сети определяется потребностью в сбросе поверхностных вод, необходимом для своевременного начала полевых работ. На засоленных почвах промывка может осуществляться только летом, после некоторого оттаивания почвы, для чего требуется устройство резервных водохранилищ, что не всегда возможно практически осуществить. Осушение и освоение болот, вызывая уменьшение влажности почв и толщины снежного покрова, сопровождается последовательным нарастанием глубины и длительности промерзания почв. В результате, вместо 40—60 см, осушенное болото промерзает на глубину 90—100 см и мерзлота на этой глубине сохраняется все лето.

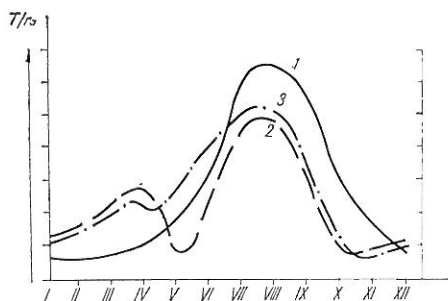


Рис. 3.

Годовые циклы солевого режима почв. 1 — безмерзлотный тип; 2 — длительно-сезонномерзлотный тип; 3 — переходный между 1 и 2 типами

Для отепления требуется при этом снегозадержание. Таким образом, вся система осушения приобретает специфический характер, отличный от системы, разработанной длительной практикой в более теплых районах Белоруссии и Украины.

Подобные же исследования были проведены на содовых солонцах, а также и в других районах, резко отличных по почвенным условиям: на Алейской оросительной системе с южными суглинистыми черноземами с пятнами солонцов, вторично засоленными вследствие подъема уровня грунтовых вод, на Ширинском стационаре в Хакасии с переувлажненными черноземовидными супесчаными почвами долины р. Июс. В результате обобщения всех исследований предлагается следующая схема типов солевого режима гидроморфных и полугидроморфных почв [32] (Рис. 3).

На схеме показаны три типа солевого режима почв. Первый тип (кривая I.) с летним максимумом засоления и зимним минимумом хорошо изучен в многовековой практике орошения Средней Азии, юга Украины и в других районах СССР, где мерзлотные явления или отсутствуют или проявляют себя слабо. Одновершинность его кривой определяется всем ритмом сезонной изменчивости погодных, гидрологических и других факторов.

Второй тип (кривая II.) с зимним и летним максимумами засоления и с опреснением весной и осенью проявляется в Сибири и, видимо, во всех районах с длительной мерзлотой. Существо его было разобрано на примере Барабы.

Третий тип (кривая III.) — переходный между первым и вторым. Он прослежен на Алейской оросительной системе и в Ширинской степи Хака-

сии, где глубокая мерзлота и жаркое, но короткое лето формируют этот тип. Особо вредно здесь сказывается на молодых растениях майский подъем солей.

Очевидно, — и ранее это было подчеркнуто, — различные мелиоративные и агротехнические мероприятия формируют свои культурные варианты водного и солевого режима почв, которые в приведенной схеме не рассматриваются, но создание которых по целевому заданию представляет важную и часто весьма сложную задачу современных исследований и практического опыта.

Третьей особенностью засоленных почв Сибири является широкое участие в почвах, почвенных растворах и грунтовых водах соды. Вопрос об источниках соды представляется весьма существенным. Возможно наметить следующие источники соды в почвах:

1. прижизненное образование соды растениями,
2. деятельность сульфатредуцирующих бактерий,
3. реакция *Гедройца*,
4. реакция *Гильгарда*,
5. геологические факторы в виде процесса выветривания щелочных алюмосиликатов, и действия напорных подземных вод. Разберем эти источники соды последовательно.

На возможность прижизненного образования соды растениями за счет преимущественного поглощения корнями серы указывал еще *В. Р. Вильямс*, но его объяснения самого механизма образования соды явно устарели. В настоящее время установлена особая роль контактного обмена в процессе поступления питательных веществ в растения. Активным фактором этого обмена является выделение корнями растений в процессе жизнедеятельности H^+ и HCO_3^- . При наличии в почве сульфатов и хлоридов натрия в результате последовательной обработки почвы бикарбонатами могут образовываться в ризосфере некоторые количества соды. К сожалению, этот источник соды почти не изучен, если не считать некоторых предположений, которые вытекают из содержательных экспериментальных работ *Е. И. Ратнера* [38].

Известно, что некоторые растения, особенно солянки, способны накапливать значительные количества натрия. По данным *Н. И. Базилевич* [4] *Suaeda* и *Salicornia* на содовых солончаках Барабы содержали 7,1—7,8% натрия, 10,2—13,5% хлора при сумме зольных элементов 24—27%. На содовых солончах *Galatella punctata* накапливала 0,36% натрия и 0,94% хлора при зольности 4,98%, а морская полынь соответственно — 0,28% и 0,30% при зольности 3,95%. После отмирания эти соли поступают в верхние горизонты почвы и в процессе обменных реакций образуют соду.

Поверхностное размещение корней в гидроморфных почвах характерно для Сибири с ее низкими температурами нижней толщи. В качестве примера можно указать на распределение корневых систем кормовых трав на луговой солонцово-солончаковой почве и на корковом солонце-солончаке Убинской опытно-мелиоративной станции [30]. В пахотном и подпахотном слоях сосредоточено около 90% от общей их массы в толще 0—60 см. Глубже 60 см количество корней было ничтожным. В то же время масса корней оказалась весьма значительной и составляла по житняку 127, а по клеверу даже 225 ц/га. Такое огромное, по крылатому выражению *Вернадского*, «давление жизни» направляет все жизненные процессы в почвах и в частности определяет их водный и солевой режим. Энергичная десукция

влаги приводит в зоне максимального иссушения к сгущению почвенного раствора и выпадению здесь солей из почвенного раствора с образованием солевых горизонтов в первую очередь из менее растворимых CaCO_3 и CaSO_4 . При этом понижается уровень верховодки, образуется на приболотном поясе так называемая «мульда» с характерными лентами солончаков. При наличии более мощной древесной растительности возникает поразительная микрокомплексность, когда под пихтой или сосной образуется линза подзолистой почвы, окаймленная по периферии поясом мучнистых карбонатов. Можно привести много других ярких примеров прижизненного влияния растений на солевой режим, но ограничусь сказанным.

Деятельность сульфат-редуцирующих бактерий как непосредственных продуцентов соды по схеме $\text{Na}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Na}_2\text{S} \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3$, была установлена для засоленных почв Западной Сибири, нашими исследованиями, проведенными на Убинской опытной станции [6]. При этом механизм сульфатредукции действовал безотказно: за 39 дней опыта с грунтовыми водами, взятыми на болоте и приболотном поясе, восстанавливалось около 1/4, а с прибавлением сегнетовой соли и до половины имеющихся сульфатов натрия. Одновременно резко возрастало содержание бикарбонатов. Однако последующие исследования Ф. М. Козловского показали, что активность сульфатредуцирующих бактерий проявляется ритмически, резко ослабляясь с понижением уровня верховодок в засушливые годы и снова усиливаясь с обводнением болот во влажные годы [21]. Затем Т. Е. Дударевой [14] было показано ослабление деятельности сульфатредуцирующих бактерий в более аэрируемых и менее гумусных солонцах Кулунды по сравнению с высокогумусными солонцами Барабы. Таким образом, образование соды за счет сульфатредукции есть процесс весьма изменчивый во времени и пространстве, направляемый ритмическими колебаниями водно-воздушного и теплового режима при наличии последовательного поступления в качестве энергетического материала доступных для данной микрофлоры органических веществ. Рассматривать его, как основной источник соды и основной путь зарождения и развития солонцового процесса на первых стадиях засоления почв, как это было сделано в известной сводке И. Н. Антипова—Каратаева [1], — не имеется достаточно оснований. Всё же широкое распространение соды в почвах и водах Барабы и Кулунды, видимо, в известной мере (какой, — это должно еще выяснить в последующих исследованиях) обязано именно этому фактору. Западно-Сибирская древняя и современная аллювиальная равнина (а также Лено—Вилюйская низменность в Якутии) являлись и являются подходящим плацдармом для проявления этого процесса, когда по мере обсыхания пойм в луговой стадии создавалась в анаэробных условиях благоприятная среда для накопления органического вещества, миграции и концентрации солей (особенно сульфатов и соды) при интенсивном питании из высокостоящих верховодок.

Широко распространен процесс содообразования по К. К. Гедройцу, когда $2\text{Na} - \text{почва} + \text{CaCO}_3 \rightarrow \text{Ca} - \text{почва} + \text{Na}_2\text{CO}_3$, или же $\text{Na} - \text{почва} + \text{H}_2\text{CO}_3 \rightarrow \text{H} - \text{почва} + \text{NaHCO}_3 \rightarrow \text{Na}_2\text{CO}_3$. Об этом может быть и не следовало бы упоминать, если бы не появившиеся в литературе последних лет попытки резко ограничить возможности приложения теории Гедройца в природных условиях и вместо его эволюционного ряда: солончак \rightarrow солонец \rightarrow солодь обосновать постулированный В. Р. Вильямсом ряд: солонец \rightarrow солончак. Главным критическим аргументом против теории Гедройца было

указание на крайнюю ограниченность возможностей внедрения натрия в ППК при наличии в нейтральных солончаках солей кальция и магния и, наоборот, легкость внедрения натрия в ППК из щелочных растворов.

Однако нельзя проходить мимо одного повсеместно наблюдаемого в природе Барабы и Кулунды факта — приуроченности содовых солонцов к более высоким террасированным поверхностям по сравнению с хлоридно-сульфатными солонцами и солончаками, занимающими, как правило, более низкие участки территории. Это хорошо наблюдаемая геоморфологическая закономерность является довольно доказательным аргументом действительности эволюционного ряда *Гедройца*: «солончак → солонец → солодь», но реализация его на огромной территории Сибири проходит в самых различных, часто весьма своеобразных сочетаниях и формах. Не обязательно считать (и это противоречит толкованию самого *К. К. Гедройца*), что любое проявление солонцеватости является продуктом рассоления солончаков, а часто оно связано с рассолением солончаковых луговых или черноземно-луговых почв, эволюционирующих при этом в луговые или черноземнолуговые солонцеватые почвы. Также не всякий солонец должен переходить в солодь, а он может эволюционировать по пути или очерноземливания (остепнения других авторов), или олуговения, или заболачивания, подвергаясь при этом воздействию процесса «биологической трансформации» [29].

При всем этом мы не только не отрицаем, но и утверждаем возможность образования содовых солонцов-солончаков непосредственно, минуя стадию солончака и даже при известных условиях превращаясь в солончак (усиленный скотобой, уничтожение колков и т. п.). Такие солонцы часто наблюдаются, они в Барабе и Кулунде хорошо изучены многими почвоведом (Базилевич, Иванова, Ковда, Орловский и др.). Но этот путь эволюции солонца, несмотря на его широкую распространенность в природе, все же является лишь ответвлением мощного биогеохимического процесса, основы которого были изучены, в работах *К. К. Гедройца*.

До сего времени имеются в солонцовой литературе указания на реакцию *Гильгарда*, как источник соды. Детальное изучение этой реакции в последних исследованиях *Ю. П. Никольской* [26] показало, что она не осуществима в условиях садки солей в озерах и почвах Кулунды, где, как известно, содовые озера встречаются очень часто.

Образование соды в процессе выветривания алюмосиликатов широко наблюдаемый в Сибири факт. В Алтайско—Саянской горной стране гранитные интрузии встречаются часто и, как правило, к ним приурочиваются выходы щелочных грунтовых вод. Полимиктовые пески ленточных боров Кулунды весьма богаты полевыми шпатами, легко отдающими при выветривании натрий, который и является источником питания содовых озер [42]. Во многих случаях источником солей являются выходы соленосных пород. Таковы третичные глины Алейской степи, пестроцветы девона в Хакасии, кембрийские известняки долин верхнего Приангарья и Бурятии и отчасти хлоридов, солевой пояс Иркутского амфитеатра и по р. Усолке в Красноярском крае, представленный сильвинитом и поваренной солью и т. д. Все они являются источником хлоридов и сульфатов, причиной появления «островных» солончаков и солонцов среди тайги.

Наконец, сода (и другие соли) подается в почвы с напорными подземными водами. На этот источник соды имеются указания в работах украинских почвоведов (*Соколовского* и др.), *В. А. Ковда*, *В. И. Егоров*, а по Сибири

(в частности по Барабе и Кулунде) приуроченность содовых вод к меловым отложениям была установлена гидрогеологической съемкой [16]. Но в вопросе о поступлении соды из глубоких водоносов много еще неясностей, так как она по сравнению с сульфатами, а тем более с хлоридами отличается наименьшей подвижностью.

Вследствие сильного пептизирующего действия на почву, миграция ее на большие расстояния, особенно в виде бикарбоната натрия и калия, возможна только в почвах и водоносах лёгкого механического состава. Видимо, этим обстоятельством и объясняется факт переноса соды в Барабе, вскрытый в работах *Н. И. Базилевич* по Барабе [3]. В тяжелых же суглинках и глинах передвижение соды крайне ограничено и она быстро расходуется по пути в процессах взаимного коллоидно-химического обмена. В результате, в Сибири с ее сложным геологическим строением наблюдается большая пестрота типов засоления вод и почв. Известная схема *В. А. Ковды*, согласно которой вся Сибирь занесена в провинцию сульфатно-содового засоления [20] требует уточнения.

В данном изложении показаны только наиболее характерные черты сложного круговорота солей в условиях Сибири. Влияние его на с.-х. производство весьма существенно. Оно определяется сочетанием таких различных факторов, как геологические и почвенные условия, степень континентальности климата, длительность вегетационного периода, дренированность местности, мерзлотность почво-грунтов и, наконец, характер хозяйственной деятельности (набор культур, система обработки почв, удобрений и т. п.). Очевидно, на огромной территории земледельческой части Сибири соотношения этих факторов изменяются весьма сильно, что требует дифференцированного подхода в планировании различных мероприятий.

В разработке последних участвовали ряд н.-и. учреждений: Пермский университет и с.-х. институт, Алтайский, Новосибирский и Омский СХИ, СибНИИСХОЗ, Убинская опытно-мелиоративная и Челябинская опытная станция, Биологический институт АН СССР. В результате длительных опытов, проведенных этими коллективами, разработана система мероприятий по первичному освоению и окультуриванию солонцов, которая освещается здесь в конспективном виде. Она включает прежде всего подбор культур и сортов по солеустойчивости, как первичный прием освоения засоленных почв.

Группировка культур, по Н. В. Орловскому [30, 45]

I. группа особо устойчивых культур: шелковица (*Russiellia limosa*), пырей бескорневищный, пырей ползучий, волоснец сибирский, лисохвост и ячмень солончаковые (взяты из местной флоры, пригодны для травосмесей в кормовых севооборотах на влажных солончаковых лугах), райграс высокий (часто вымерзает), райграс однолетний (интересен как покровное для травосмесей), донник белый (на зеленое удобрение, для силосования, для посева на сенокосах и пастбищах).

Из овощных культур — свекла сахарная, кормовая, столовая.

II. группа среднеустойчивых культур: житняки — сибирский (песчаный), пустынный (узкоколосый), гребенчатый (ширококолосый), волокнистый (регнерия), костер безостый, овсяница, луговая (имеются ценные популяции, отобранные из местной флоры), овсяница красная, овсяница тростниковидная (часто вымерзает), люцерны синие, желтые и гибридные.

Из полевых и огородных культур: озимая рожь, яровая пшеница, ячмень, овес, (каждая изучалась в составе 2—3 районированных сортов). Из кормовых и овощных культур: помидоры, капуста (Слава), кормовая капуста, брюква, редька, репа, турнепс (Эстерзундомский), морковь (Нантская и Шантенэ), картофель (Лорх, Советский).

III. группа неустойчивых культур: эспарцет песчаный, клеверы красный, розовый и белый (перспективны местные формы красного клевера, встречающиеся на солонцах), тимopheевка луговая (имеются ценные популяции, отобранные из местной флоры).

Из полевых и огородных культур: подсолнечник, кукуруза, салат, шпинат, цикорий, бобы, фасоль, горох, вика посевная, редис, лен, лук, чеснок, огурцы.

Из лесных пород пригодны для культуры на солонцах: тополь белый, осина, береза бородавчатая (в условиях повышенного увлажнения), вяз мелколистный (часто вымерзает), клен татарский, тамариск, лох узколистный, смородина золотистая, акация желтая, жимолость татарская, дереза.

Для этих трех групп культур определены лимиты засоления по шкале допустимых, вредных и токсических концентраций в двух показателях: м-экв. на 100 см³ почвы (агропочвенный), в знаменателе — м-экв. на литр почвенного раствора (агрофизиологический) (Табл. 3, 4.).

Как видно из данных таблиц, солеустойчивость культур резко понижается при наличии соды. Содержание сухого остатка 0,2—0,4% в этом случае является уже вредным для большинства культур, а для культур III. группы уже токсическим. В то же время в результате наличия гипсового буфера при хлоридно-сульфатном засолении растения I и II. группы выдерживают общие концентрации до 1%. На торфяно-глеевых солончаковых почвах наблюдается более сильное действие солей на растения, что, видимо, связано с наличием сульфидов, дополнительным вредным действием сероводорода и ослаблением солевыносливости растений при культуре в специфических условиях болота.

Здоровые полноразвитые растения, особенно из аборигенов, выносят большее засоление, чем инорайонные, хотя и пользующиеся на своей родине репутацией солеустойчивых. Растения в молодом возрасте более чувствительны к солям, чем в последующие фазы развития. В Барабе растения осваивают более засоленные местообитания, чем в Кулунде и Средней Азии, что связано с меньшими концентрациями солей в почвенных растворах, вследствие более высокой влажности почв Барабы при весьма высокой их влагоёмкости. Для каждого крупного природно-хозяйственного региона должна быть разработана своя шкала растений по их солеустойчивости. При этом следует всегда помнить, что агрофон часто определяет успех возделывания каждой данной культуры в условиях засоления. Ярким тому примером является венгерский опыт получения урожаев в 60 ц/га и выше сена шелковицы при внесении NP и орошении, когда без удобрений и орошения она дает совершенно ничтожные урожаи. Это касается и других культур, поведение которых в отношении сдвига в урожайности кажется с первого взгляда консервативным.

Первичная обработка сульфатно-содовых солонцов заключается в предварительном дисковании или фрезеровании дернины и глубокой безотвальной вспашке с рыхлением, но без выворачивания на поверхность столбчатого солонцового слоя (Табл. 5). Вспашка на солонцах с отвалом приводит

Таблица 3.
Лимиты засоления (тип $\text{Na}^+ - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^-$) для культур I., II. и III. групп
м-экв на 100 см³ почвы
м-экв/л раствора

Классы культур и концентраций солей	I.	II.	III.	Горизонт	Год с хорошим увлажнением				Засушливый год			
					Сухой остаток, % и г/л	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Щелочи $\text{K}^+ + \text{Na}^+$, %	Сухой остаток, % и г/л	HCO_3^-	SO_4^{2-}	Щелочи $\text{K}^+ + \text{Na}^+$
Допуст.	Допуст.			пах.	0,2–0,3 3,5–7	0,6–1,0 15–26	0,4–1,0 10–30	< 0,6 14	0,2–0,3 5–6	1–1,5 26–100	< 0,5 13–18	< 1,0 19–45
				п/пах.	0,3–0,5 11–14	1,5–4,0 54–130	0,6–1,0 21–42	< 1,3 30–38	0,3–0,5 2,5–9	1,5–3 26–90	< 0,5 15–18	0,6–2 11–64
	Вредн.	Допуст.		пах.	0,2–0,4 4,5–9	2,3–2,6 56–69	0,4–1,6 10–49	1–2 32–70	< 0,35 12–19	1,7–3,6 61–136	0,5–1,2 22–36	1,2–4 76–129
				п/пах.	0,4–0,7 11–22	5–6 132–180	1,1–2,4 18–72	4–6 113–193	0,2–0,8 20–30	1,9–3,7 63–154	0,3–2,4 34–102	1–4,8 36–206
Вредн.	Допуст.	Вредн.		пах.	0,2–0,5 6–11	3–4,6 73–116	1–1,5 18–36	2–4,5 44–112	—	—	—	—
				п/пах.	0,4–0,8 11–19	5,5–7 116–177	1–3 21–79	4–7 90–186	—	—	—	—
Вредн.	Токсичн.			пах.	0,2–0,3 8,5–10	5–8 103–113	1–2 24–48	> 4,5 90–112	0,5–1,0 14–26	2,2–2,9 67–75	1,5–3,9 38–101	3–7,7 88–199
				п/пах.	0,5–0,6 9,5–12	6–7 118–159	1–1,5 24–29	5–6,5 115–145	0,4–0,7 8–19	2,7–3,9 65–99	4,4–4,9 96–135	2–8,4 51–232
Токсичн.	Группы по солеустойчивости			пах.					0,4–0,7 10–19	3,4–4,5 80–140	1–2,5 30–45	3–4 50–108
				п/пах.					0,5–0,8 12–17	3–5 70–120	0,8–1,4 19–35	3–4 76–95

Таблица 4.

Лимиты засоления (тип $\text{Ca}^{2+} - \text{Mg}^{2+} - \text{Na}^{+} - \text{Cl}^{-} - \text{SO}_4^{2-}$) для культур I, II и III групп м-экв. на 100 см³ почвы

м-экв/л раствора

Классы культур и концентраций солей			Горизонт	Сухой остаток, % и г/л	HCO_3^{-}	SO_4^{2-}	Cl^{-}	Щелочи $\text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$
I.	II.	III.						
	Допуст.	Вредн.	пах.	0,3—0,7 2,5—6,8	1—1,1 28—38	1,6—3,4 41—123	1—4,9 28—180	1,4—2,9 36—108
			п/пах.	0,6—1,1 15—30	1—1,2 28—31	4,9—6,6 127—171	1,8—8 47—206	2,8—5,0 70—129
Допуст.	Вредн.	Токсич.	пах.	0,6—1,1 10—37	0,8—1,4 13—39	2,5—3,5 51—166	4—9,6 74—325	3—7 60—237
			п/пах.	0,9—1,6 16—33	1,2—1,4 26—31	4,4—6,5 82—133	6,5—13 122—265	5,4—8,6 109—175
Вредные	Токсич.		пах.	1,2—3,9 29—117	0,6—0,8 19—19,4	8,5—18 203—551	2,9—7 163—879	6,3—22 150—677
			п/пах.	1,6—3,9 37—91	0,8—1 20—23	11—19 260—453	9,4—27 226—633	8—25 192—584
Токсич.			пах.	$\frac{2,6}{77}$	$\frac{0,7}{20,5}$	$\frac{12}{354}$	$\frac{23,5}{709}$	$\frac{23}{701}$
			п/пах.	$\frac{3,1}{7,8}$	$\frac{0,8}{20,4}$	$\frac{16}{386}$	$\frac{20}{485}$	$\frac{26}{618}$

к резкому ухудшению физических свойств пахотного слоя и усилению токсичности. Вспашка трехрядным плугом ПТ—2—30 вследствие недостатков конструкции не даёт положительных результатов [34]. Только при наличии на доступной глубине, гипсовых выделений послойная глубокая (до 40 см) вспашка с оборотом оказывает мелиорирующее действие. Мобилизация почвенных карбонатов в щелочных почвах в условиях Сибири, с её коротким вегетационным периодом идёт слабо и, видимо, не может быть использована с необходимой полнотой для «самомелиорации» солонцов.

Землевание пятен солонцов черноземом, взятым по соседству из разных мест понемногу и переброшенным тонким слоем 3—5 см на поверхность солонца подавляет токсические явления, улучшает физические и физикохимические свойства и даёт возможность получать ровные всходы культур даже на токсических корковых солонцах [45]. В опытах А. И. Обороина высокую эффективность давало мульчирование солонцов соломой, которой вносилось по 5 т/га [28].

Эффективность гипсования при слабой растворимости гипса определяется в основном влагообеспеченностью, но на ранних чистых парах при своевременном снегозадержании она является достаточной для взаимодействия гипса с почвой и удаления продуктов обмена в подпахотный слой. Даже в условиях острозасушливой Кулунды установлена окупаемость затрат на

Таблица 5.

Влияние последствий различных вспашек на урожай сена (ц/га) двухлетнего донника и люцерно-костровой травосмеси (на 4 год после вспашки 1957 год)

Комплексы засоленных почв	Донник белый			Люцерно-костровая травосмесь		
	виды вспашки			виды вспашки		
	с отвалом на 16—22 см	с отвалом мелкая + почво- углуб. на 30—35 см	без отвала на глубину 30—40 см	с отвалом на 16—22 см	с отвалом, мелкая + почвоуг- луб. на 30—35 см	без отвала на глубину 30—35 см
Корковые — высокие и средние солонцы — солончаки	10,1	—	—	9,4	—	14,3
Высокие и средние солонцы солончаковатые	18,8	27,0	22,0	12,0	18,4	18,6
Глубокие солонцы	25,2	49,1	26,7	15,7	21,1	18,8
Черноземно-луговая солонцеватая почва	37,5	60,0	39,3	22,5	24,8	27,1

гипсование прибавками урожаев сена донника и люцерно-злаковой травосмеси и зерна пшеницы за 2—3 года (Табл. 6). Дозы гипса рассчитываются по разнице содержания поглощенного натрия в солонце, намеченном к освоению, и в подобном же солонце, расположенном по соседству, естественно рассолонцованном в результате процесса биологической трансформации и обладающим повышенной продуктивностью. Для средних содовых солонцов рекомендуются экономически возможные нормы гипса в 3—4 т/га. Положительное влияние на солонцеватых черноземах и глубоких солонцах оказывает рядковое внесение малых доз гипса (1,5—2 ц/га) под зерновые. Для гипсования в Кулунде и Хакасии используются местные залежи гипса, в изобилии здесь имеющегося [31].

Из минеральных удобрений предпочтение имеют физиологически кислые, которые при систематическом внесении сульфата аммония и суперфосфата образуют в почве до 1 т/га гипса. Особое значение на глубоких и средних солонцах имеет навоз и различные компосты, а также донник на зеленое удобрение при условии ранней его заделки. На высоких и корковых солонцах вследствие недостатка кальция продукты разложения навоза связываются с натрием и тем самым еще более усиливают дисперсность и токсичность солонца. Действие органических удобрений на таких солонцах проявляется только на фоне гипсования и землевания [30].

В Барабе осушаются значительные площади засоленных болот. Разработана система их осушения и первичной обработки; некоторые особенности её были освещены выше. В Кулунде, Целинном крае, Хакасии и Бурятии с помощью лиманного и правильного орошения осваиваются засоленные почвы долин, которые используются под посевы зерновых культур и для создания культурных сенокосов и пастбищ. При этом вся система гидротехники, орошаемого земледелия и предотвращения почв от вторичного засоления имеет ряд глубоких отличий от своих европейских аналогов. В Бурятии она часто осложняется наличием вечной мерзлоты. Но эта тема требует специального изложения.

Таблица 6.

Влияние гипсования на урожай сена донника (ц/га — 1957 г.)

Почвы	Крутишинский совхоз Донник 2 года			Совхоз Мирный Донник 1 год		
	без гипса	гипс 2 т/га	прибавка	без гипса	гипс 2 т/га	прибавка
Корковые — высокие сред- ние солонцы-солончаки	10,1	14,3	4,2	—	—	—
Высокие — средние солонцы солончаковатые	18,8	21,9	3,1	8,1	10,7	2,6
Глубокие солонцы	25,2	28,6	3,4	—	—	—
Чернозёмно-луговая силь- носолонцеватая	—	—	—	19,9	23,7	3,8
Чернозёмно-луговая слабо- солонцеватая	37,5	45,6	8,1	20,3	24,2	3,9

Перед с.-х наукой и практикой Сибири в деле освоения засоленных земель стоят крупные задачи. Необходима дальнейшая рационализация и углубление всего процесса детального почвенно-агрохимического и почвенно-мелиоративного картирования с тем, чтобы источники засоления, его типы, пути преодоления вредного влияния солей были в каждом данном случае твердо установлены и служили бы принципиальной основой для мероприятий. Необходимо в каждом районе массового распространения засоленных почв организовать новые и углубить имеющиеся стационарные исследования по системе обработки почвы, удобрениям и мелиорации. При этом, кроме местных залежей гипса (а на осолоделых солонцах и извести) должны быть использованы различные отходы промышленности, как например, хлористый кальций, серная кислота, сернокислое железо, кальциевый дефекат сахарных заводов и др [2]. Некоторые из них уже изучались в Сибири и дали положительные результаты. (H_2SO_4 — Казаков [19], $FeSO_4$ — Оборин [28]). Торфонавозные компосты должны найти широкое применение на солонцах Барабы, где они соседствуют непосредственно с торфяными массивами болот. Важно усилить работу по подбору и приспособлению имеющихся и конструированию новых с.-х. машин и орудий для обработки солонцов, их землевания. Подбор культур для возделывания на солонцах должен сопровождаться их селекцией в направлении повышения их солеустойчивости и солонцеустойчивости, природа которых различна, что необходимо учитывать в практике селекции. Осушение засоленных болот, орошение, обычно приуроченное к засоленным долинам рек, требуют длительных капитально поставленных исследований водно-солевого режима почв. Наконец, агроэкономическая оценка различных мероприятий и бонитировка засоленных почв является обязательным звеном всей системы мероприятий по освоению и окультуриванию огромной площади засоленных почв Сибири.

Л и т е р а т у р а

- [1] Антипов-Каратаев И. Н. и др.: Мелиорация солонцов в СССР. АН СССР. Москва. 1953.
- [2] Антипов-Каратаев И. Н. и Кадер Г. М.: Содовые солонцы и способы их мелиорации. Агрохимия. 1. 1964.
- [3] Базилевич Н. И.: Типы засоления природных вод и почв Барабы. Тр. Почв. Ин-та АН СССР. 36. 1953.
- [4] Базилевич Н. И.: Обмен минеральных элементов в различных типах степей и лугов на черноземных, каштановых почвах и солонцах. Проблемы почвоведения. 148—206. 1962.
- [5] Верещенко Ю. П.: Агрофизическая характеристика почв цент. части Красноярского края. АН СССР. Москва. 1961.
- [6] Вернер А. Р. и Орловский Н. В.: О роли сульфатредуцирующих бактерий в солевом режиме почв Барабы. Почвоведение. (9) 553—560. 1948.
- [7] Геокриология. Основы геокриологии (мерзловедения). АН СССР. Москва. 1959.
- [8] Герасимов И. П.: Самобытность генетич. типов почв в Сибири. Сиб. географ. сборник 2. 7—27. Москва. 1963.
- [9] Герасимов И. П. и Иванова Е. Н.: Процесс континент. соленакопления в почвах, породах, подз. водах и озерах Кулунды. Тр. Почв. Ин-та. 9. 1934.
- [10] Голяков Н. М.: Солевой режим болотных почв Центральной Барабы в связи с их мелиорацией. Канд. диссертация. СХИ. Омск. 1953.
- [11] Горшенев К. П.: Почвы южной части Сибири. Изд. АН СССР. Москва. 1955.
- [12] Горшенев К. П.: К вопросу о классификации почв. Почвоведение. (1). 56—64. 1960.
- [13] Градобоев И. Д.: Почвы лиственных лесов Сибири. Тр. по лесн. хоз-ву. 3-Сиб. фил. АН СССР. 4. 45—54. 1955; 3. 102—117. 1958.
- [14] Дударева Т. Е.: Сульфатредуцирующие бактерии в солонцах Ц. Барабы и Сев. Кулунды. Вопросы освоения солонцов Кулунды и Барабы. Тр. Биолог. Ин-та АН СССР. 9. 1962.
- [15] Журавлев М. З.: Водный режим чернозема лесостепи Зап. Сибири. Тр. Омского с.-х. ин-та. 36. 1959.
- [16] Зайцев И. К., Гуревич М. С. и Белякова Е. Е.: Гидрохимическая карта Сибири и ДВ, Тр. ВСЕГЕИ, 3. 1956.
- [17] Зольников В. Г.: Почвы восточной половины Ц. Якутии. «Мат. о природных условиях и с.-х-ве Ц. Якутии». Якутский фил. АН СССР, 1954.
- [18] Иванова Е. Н. и Розов Н. Н.: Опыт систематики почв степной зоны СССР. Почвоведение, (12), 1958 и (1) 59—70, 1959.
- [19] Казаков В. Е.: Улучшение химич. и физич. свойств солонцов при помощи химической мелиорации. Алма-Ата, 1939.
- [20] Ковда В. А.: Происхождение и режим засоленных почв. 1. АН СССР, Москва, 1946.
- [21] Козловский Ф. И.: О формах анаэроб. процессов в торфяниках Ц. Барабы. Почвоведение. (8). 40—50, 1959.
- [22] Лыков А. В.: Теория сушки. АН СССР. Москва—Ленинград. 1950.
- [23] Макеев О. В.: Дерновые таежные почвы юга Средней Сибири. Изд. АН СССР. Москва. 1960.
- [24] Маландин Г. А.: Почвы Урала. Свердловск. 1936.
- [25] Надеждин Б. В.: Лено-Ангара лесостепь. АН СССР. Москва. 1961.
- [26] Никольская А. П.: Процессы солеобразования в озерах и водах Кулундинской степи. Изд. Сиботд. АН СССР. Москва. 1961.
- [27] Носин В. А.: Почва Тувы. Н СССР. Москва. 1963.
- [28] Оборин А. И.: Мелиорация солонцов в лесостепном Зауралье. Докторская диссертация. Москва. 1962.
- [29] Орловский Н. В.: Засоленные почвы Западной Сибири, основные приемы их освоения. Новосибирск. 1941.
- [30] Орловский Н. В.: Исслед. по генезису, солевому режиму и мелиорации солонцов и др. засоленных почв Барабинской низменности. Тр. Почв. Ин-та им. Докучаева. 47. 226—409. 1955.
- [31] Орловский Н. В.: Основные приемы освоения и окультуривания засоленных почв в Западной Сибири и Северном Казахстане. М-во с.-х. СССР Москва. 1959.
- [32] Орловский Н. В.: Особенности водно-солевого режима почв Западной и Средней Сибири. Доклады к VIII Межд. конгрессу почвоведов. Физика, химия и пр. ВОП. Москва. 1964.

- [33] Орловский Н. В. и Казанцев Н. В.: Систематический список почв Красноярского края. Тр. Красн. с.-х. ин-та. **7**. 1960.
- [34] Орловский Н. В., Котельников В. И., Кускова Е. С. и Островляничик М. Ф.: О работе трехярусного плуга ПМ—2—30 на солонцах. Вопросы освоения солонцов Кулунды и Барабы. Тр. Биолог. Ин-та АН СССР. **9**. 1962.
- [35] Петров Б. Ф.: Почвы Алтайско-Саянской области. Тр. Почв. Ин-та им. Докучаева, **35**. 1952.
- [36] Почвенно-географическое районирование СССР. Почв. Ин-т им. В. В. Докучаева и СОПС АН СССР, Москва, 1962.
- [37] Почвы Алтайского края. Почв. Ин-т им. Докучаева. Москва. 1959.
- [38] Ратнер Е. И.: Минер. питание растений и поглотит. способность почв. АН СССР. Москва. 1950.
- [39] Роде А. А.: Водный режим почв и его типы. Почвоведение. (4) 1—23. 1956.
- [40] Соколовская Н. А.: Особенности водно-воздушного режима торфяных почв низинных болот Барабанской низменности. Диссертация. Почв. ин-т им. Докучаева. Москва. 1955.
- [41] Сребрянская П. И.: Явления сезонного замерзания и оттаивания почв центр. Барабы. Иссл. Барабинской низменности. ч. 2. **42**. 20—34. 1954.
- [42] Страхов И. Я., Разживина А. И. и Жирова Е. С.: Осадкообразование в озерах засушливой зоны СССР. Содовые озера Кулундинской степи. В кн. «Образование осадков в современных водоемах». Изд. АН СССР. Москва. 1954.
- [43] Труды I. Сибирской конф. почвоведов. Ин-т леса и древесины СССР, Красноярск. 1962.
- [44] Тютюнов И. А.: Взаимодействие минеральной части почвы с водой. Почвоведение. (2) 29—38. 1959.
- [45] Убинская опытно-мелиорат. станция. За с.-х. освоение Барабы. Новосибирск. **1**. 1946.

The Genesis and Utilization of Salt Affected Soils in Siberia

N. V. ORLOVSKIY

The Forestry and Forest Economy Institute of the Academy of Sciences of the USSR, Krasnoyarsk

Summary

Under Siberia's cold, strongly continental climate and the country's complex geological formation, the genesis, properties and biological processes of the sodic-alkali soils and the methods of their agricultural utilization show several characteristic features. Their geographical position in the southern regions of long subject to agricultural exploitation shows a great diversity as to the types of salinization, in the sources of salts, the conditions and circumstances of their transportation, and salt accumulation. In the northern regions of Siberia the problem of salt accumulation has received little attention so far.

The phenomenon of salt accumulation is, essentially, a soil process except where alkaline waters appear through the weathering of basic rocks. The transportation of soda by ground waters over considerable distances, which takes place particularly where sand and sandy clay act as aquiferous strata, is retarded by adsorption processes and conversions occurring in loamy soils.

With various soil forming rocks and saline tertiary clays, Devon and Cambrian multicoloured soils tend to evolve. According to GEDROIZ, chlorides and sulfates formed through the weathering of such rocks are liable to give rise to solonetz and solonchak soils with simultaneous accumulation of soda on poorly drained lowlands. HILGARD held that soda formation is highly improbable either in soils or saline lakes.

Soda formation takes place during the short summer season, due to sulfate-reducing bacteria, under anaerob conditions. Such conditions are characteristic of dried-out river beds and imperfectly drained lowlands. It would seem that soda in the extensive alluvial deposits of West Siberia and the basins of the Lena river originates, both in the past and in the present, from this process.

Freezing of the soil to considerable depth in winter, with mineralized ground waters near the topsoil, cause the crystallization of soil moisture and salt, and the simultaneous deposition of mirabilite and soda in the frozen soil layer. While these chemicals are retained in the soil even after the thaw period, through spring and summer, chlorides and sulfates progress further downward, to reach the frozen layer (thermodiffusion and leaching). This condition determines the character of the salt distribution of the soil, as shown by the salt content curve with two maxima (the usual summer and winter peaks).

If a large quantity of roots are present, their location near the surface in the cold soils provides conditions for salt precipitation in (or beneath) the intensive desuctive layer, by the formation of salt layers.

The relative proportions between the superficial non-saline moisture and the salt-water moisture of the soil has an important effect on the distribution of salt, as well as on the degree and character of soil alkalinity. Due to the stratification of moisture derived from thawing snow, so-called "sweet-water" cushions tend to form, the development and maintenance of which constitute one of the most difficult hydrological problems in drainage and irrigation, respectively.

In developing the virgin lands in Siberia, considerable areas of alkali soil are involved. For the amelioration and fertilization of these lands appropriate regional plans have been developed by scientific-experimental organizations. These organizations studied many things including: the salt tolerance of various agricultural crops in relation to different types of salinity; methods for the primary cultivation of solonetz soils without plowing the columnar horizon by use of suitable machines and implements; the time and rate of the application of gypsum or its substitutes, the efficiency of mineral and organic fertilizers and that of green manure dressing by *Melilotus*, ways and means for the drainage and first utilization of saline marshes, the problems of how to prevent salinization in irrigation and drainage, how to combat secondary salinization, and many other related questions.